

平成 12 年度卒業論文

トラバースクリープフィード研削の基礎特性  
砥石と工作物位置合わせの自動化

高知工科大学工学部知能機械システム工学科  
中越順哉

指導教員 松井敏

平成 13 年 2 月 27 日

## 目次

1 . 緒言 .....	1
1 . 1  研究の背景 .....	1
1 . 2  研究の目的 .....	2
2 . 砥石と工作物の位置合わせについて .....	3
2 . 1  位置合わせ作業 .....	3
2 . 2  今回の研究で提案する位置合わせ方法 .....	3
3 . 実験装置及び実験方法 .....	5
4 . 実験結果及び考察 .....	8
4 . 1  クーラントガイドの影響 .....	8
4 . 2  クリープフィード研削に適した砥石の種類 .....	10
4 . 3  ドレッシング送り速度と限界切込み量 .....	12
4 . 4  クリープフィード研削の研削限界 .....	13
4 . 5  研削方法と能率の関係 .....	14
5 . 結言 .....	15

## 参考文献

## 1．緒言

### 1.1 研究の背景

1960年代後半から70年代頃にNC(数値制御)工作機械の普及期があり、機械加工の自動化・無人化が熱心に試みられた<sup>1)</sup>。最初のNC研削盤が開発されたのもこの時期にあたる<sup>2)</sup>。しかし、平面研削盤では比較的簡単なシーケンス動作が主体であり、わざわざNC装置を導入することのメリットを疑問視する声もあり、研削盤のNC化が遅れることとなった。近年、NC化の遅れていた平面研削盤もCNC化が進み、周辺技術も含めた自動化が望まれている。

円筒研削盤や内面研削盤では、古くから工作物の寸法や形状を加工中に検出して研削サイクルを制御する定寸装置が装備されていた。これは円筒研削盤や内面研削盤における加工形状が単純で連続的な円筒形状であることから、計測がやりやすいことが理由の一つとして考えられる。一方、平面研削では計測が断続的になるため自動化が難しく、定寸装置の普及も遅れている。定寸以外の精度や研削状態については、切屑の生成状態、研削音等の加工情報を目や耳から収集して加工プロセスの良否を判断し、加工条件の選定および変更を行っている。すなわち、作業者は工作機械の制御装置としての役割を演じているとみなすことができる。生産システム全体の自動化を推し進めれば推し進めるほど、研削途中の状況など広い意味での加工状態を総合的に認識し、これらを最適な状態に制御することの重要性が強調される結果となる。このような今まで人間が行ってきたものをいかにセンサにより代行するかが自動化・無人化する上で解決しなければならない課題の一つである。しかし、一般に研削作業は最終仕上げ工程としてきわめて高精度な加工が要求され、それだけに熟練した作業者に依存する程度が大きい。このことが研削盤の自動化が他の工作機械に比べて遅れてきた理由でもある。

図 1 に NC 平面研削盤の主な研削手順を示す．この中で自動化されているものは網掛けした部分であり，その他の作業は一部自動化されているか，手作業で行われている．

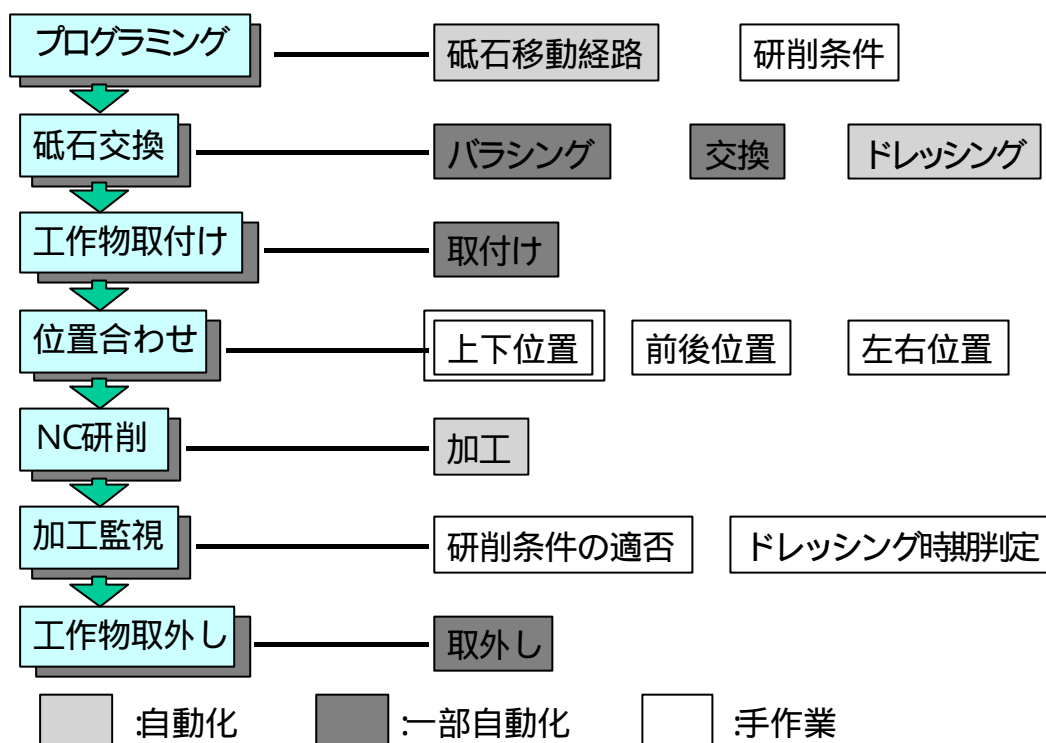


図 1 NC平面研削盤の研削手順

## 1.2 研究の目的

本研究の目的は，図 1 に示した手順の中で手作業で行われている部分を自動化することである．今回はこれらの中で，図 1 の二重枠で囲まれた部分である工作物と砥石の位置決め作業を自動化することを目的とする．

## 2. 砥石と工作物の位置合わせについて

### 2.1 位置合わせ作業

研削は通常，仕上げ工程であるので高精度な加工が要求される．研削前の工作物表面は図 2 に示すように熱処理などによって数マイクロメートルから数十マイクロメートルの形状の誤差がある場合がある．一般に行われている普通研削では図 2 のように切込み量が少ないため，砥石と工作物の位置合わせが不正確であると部分的に切込み量が過度になり研削焼けが発生したり，砥石作業面を損傷する恐れがある．このため，砥石を工作物全面にわたって走査させ，工作物の最高点を探す作業が必要である．このような作業は経験が必要であり，自動化する上でも大きな問題点となっている．

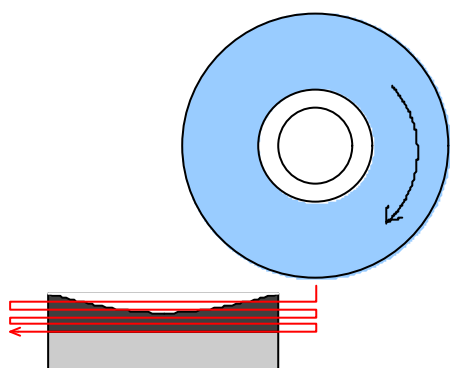


図 2 普通研削

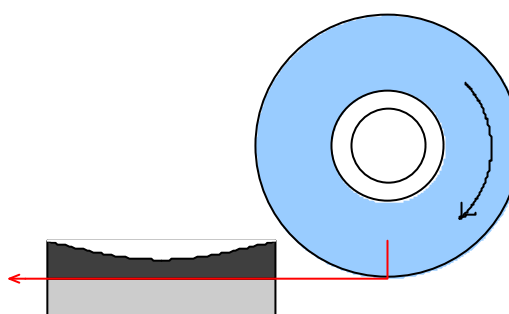


図 3 クリープフィード研削

### 2.2 今回の研究で提案する位置合わせ方法

砥石と工作物の位置合わせを自動化する目的で，各種センサも研究されているが信頼性や一点しか計測できないなどの問題もあり実用化されていない．本研究ではセンサを使用しなくても位置合わせ作業を自動化できる方法について検討し，図 3 に示すクリープフィード研削<sup>3)</sup>を応用することを考えた．一般にクリープフィード研削は数ミリメートルあるいはそれ以上に及ぶ大きな切り込みを一度に与え，逆に毎分数ミリメートル～数百ミリメートルの低速度で，工作物を 1 パスで加工する研削方法である．このように切込み量が大いので工作物表面に数十マイクロメートル程度の形状誤差があっても，その影響を受けずに研削することができる可能性

があると考えられる．そこで，クリープフィード研削で粗研削を行った後で普通研削を行い仕上げることにより，砥石と工作物の正確な位置合わせをしなくても加工できる可能性がある．これによりセンサを使用しなくても工作物と砥石の位置決めを自動化できるのではないかと考えた．

しかし，クリープフィード研削は今までほとんどプランジ研削にしか使用されておらず，トラバース研削に応用された例が見られないので，本研究ではまず，クリープフィード研削をトラバース研削に応用することが可能かどうか知るため，トラバースクリープフィード研削の基礎特性について調べ，普通研削と比較検討した．

### 3. 実験装置及び実験方法

NC 平面研削盤のテーブル上に設置したキスラーの動力計に工作物を取り付けて研削を行い，研削の可否，火花の状態，研削抵抗，表面粗さを測定した．図4はNC 平面研削盤の外観写真である．表1に主な仕様を示す．

図5は研削部分の写真である．工作物の右側に取り付けたクーラントガイドは，研削開始端で研削面にクーラントを十分に供給するためのものである．



図4 実験装置の外観写真

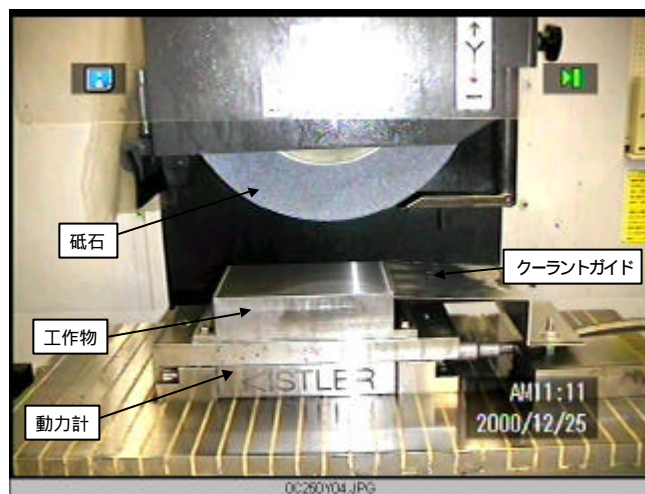


図5 研削部分の写真

表1 NC平面研削盤の主な仕様

機種	GHL-NB306M
テーブル作業面積	600 × 300mm
テーブル左右送り速度	2 ~ 25m/min(普通) 10 ~ 1000mm/min(クリープフィード)
砥石の大きさ	305 × 32 × 76.5mm
砥石回転数	1800min <sup>-1</sup>
砥石軸用電動機	AC 3.7kw

表 2 に使用した測定器を示す．研削抵抗は動力計からの信号をチャージアンプで増幅してオシログラフ記録した．また，表面粗さは工作物中央部を研削方向とは垂直に測定した．

表 2 測定器など

動力計	9254(KISTLER)
チャージアンプ	5019(KISTLER)
オシログラフ	OR1400(YOKOGAWA)
表面粗さ測定機	SARFCOM480A(東京精密)

表 3 に実験条件を示す．砥石は通常の WA 砥石と微粒子を焼結させた SG 砥石の 2 種類を使用した．ドレッシングはドレッサ摩耗の影響をなくするため，自転形単石ドレッサを使い，一度研削する毎にドレッシングを行った．図 6 にドレッシング装置を示す．クリープフィード研削はすべてアップカットのみで，切込み一回のみの加工を行った．すなわち，工作物の右側から左側に向かってアップカットで研削し，砥石を上方へ逃がして，工作物の右側に戻した．普通研削は前後両端切込みで合計 10 回の切込みを行って研削した．

表 3 実験条件

	研削砥石	WA46I12V ( 305 × 32 × 76.2mm ) 3SG46I12V ( 305 × 32 × 76.2mm )
	工作物	S45C, 100 × 150 mm
	クーラント	シンセティック #870(希釈率 20 倍)
ドレッシング条件	ドレッサ	単石ドレッサ(自転型)
	切込み量	10 μm × 5 回
	送り速度	100, 300, 500mm/min
クリープフィード研削条件	砥石切込み量	100 ~ 600 μm
	送り量	30mm
	テーブル速度	300 ~ 1000mm/min
普通研削条件	砥石切込み量	5, 10 μm × 10 回
	送り量	10, 20mm
	テーブル速度	10, 15, 20m/min



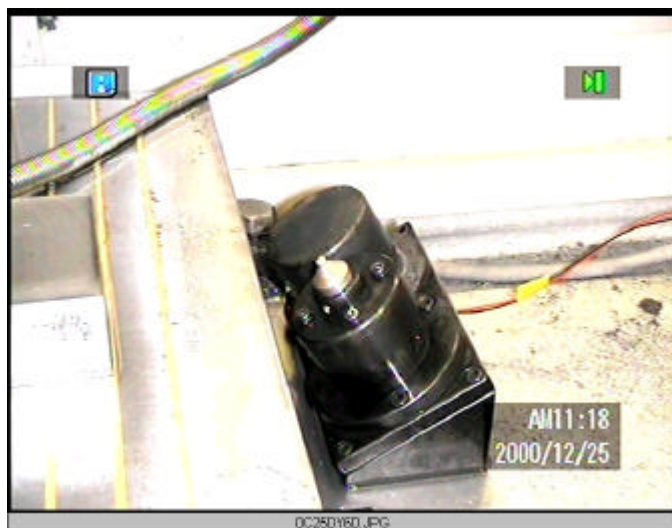


図6 自転形単石ドレッサ

## 4．実験結果及び考察

### 4.1 クーラントガイドの影響

初め,クリープフィード研削の実験を行ったところ,研削開始端で火花が非常に多かった.これは,図7(a)に示すように研削開始端で研削面にクーラントが十分に当たっていないためと考えられたので,図7(b)のようにクーラントガイドを設けた.その結果,研削開始端での火花が減少した.また表面粗さも改善された.

図8にクーラントガイドのない場合とある場合の表面粗さの比較を示す.図8からクーラントガイドをつけた場合,表面粗さが改善されていることがわかる.これは研削開始端でクーラントが十分に研削面に当たるようになり,研削熱の発生が少なくなったため,砥石作業面が傷つきにくくなったことによるものではないかと考えられる.また,図9は切込み量と接線研削抵抗の関係を表したものであるが,接線研削抵抗に関しては大きな差が見られないことが分かる.

以下の実験はすべてクーラントガイドを取り付けて行った.

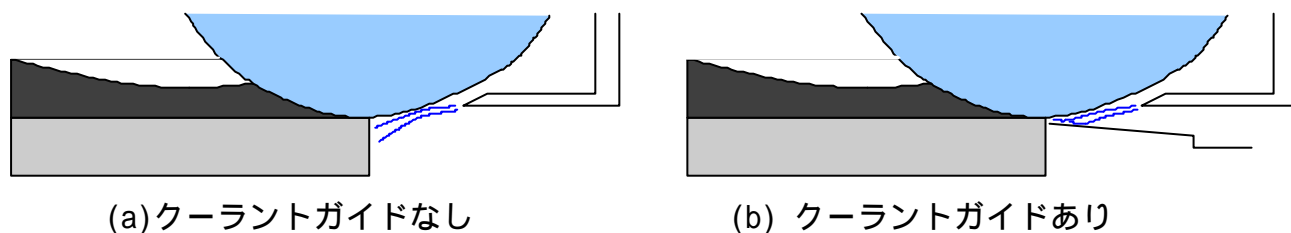


図7 クーラントガイドの有無とクーラントの供給状況

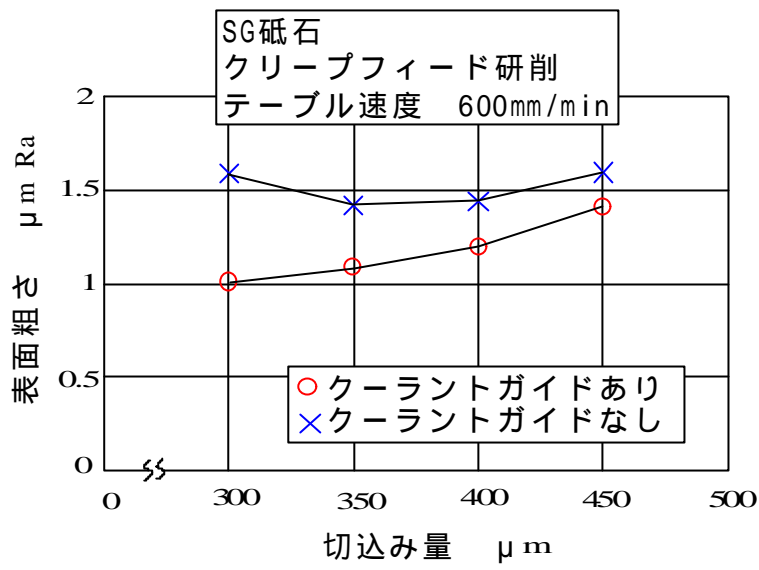


図8 クーラントガイドと表面粗さの関係

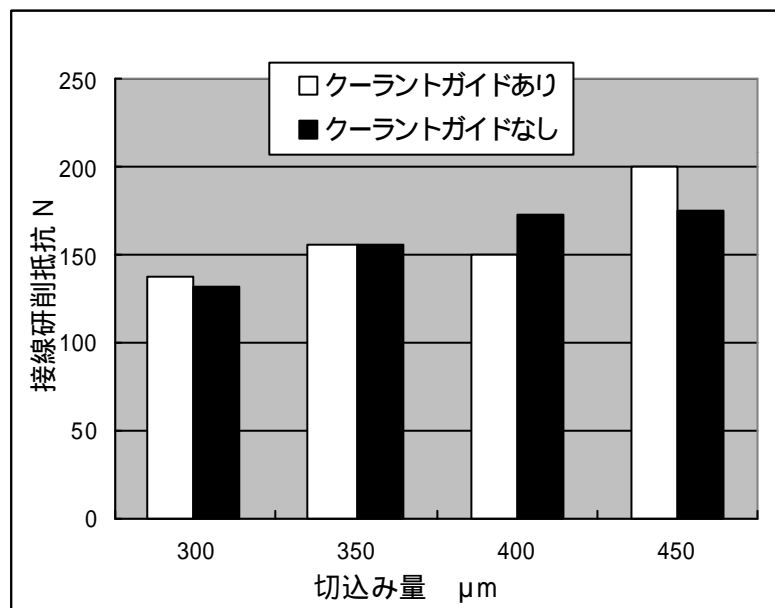


図9 クーラントガイドの有無と接線研削抵抗の関係

## 4.2 クリープフィード研削に適した砥石の種類

最初、WA 砥石を使って研削を行ったが研削能率が悪かったため SG 砥石を使用し比較した。

図 10 は砥石の種類と限界切込み量の関係を示す。ここで、限界切り込み量とは研削抵抗によってテーブルが停止しないで研削可能な最大切込み量である。また、図 11 は砥石の種類と表面粗さ及び接線研削抵抗の関係を示す。また、表 4 に砥石の基本特性を示す。

図 10 から WA 砥石に比べて SG 砥石の方が限界切込み量が大きいことが分かる。また図 11 から SG 砥石は表面粗さや研削抵抗の面でも優れていることが分かる。これは SG 砥石は微結晶を焼結させたもので、独特の破碎性を生み自生作用が強いためではないかと考えられる。

以後の研削では SG 砥石を使用している。

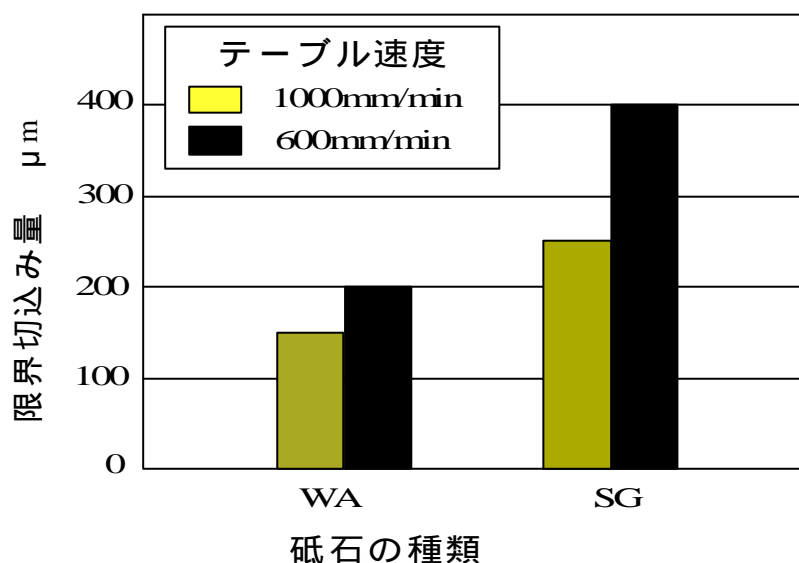


図 10 砥石の種類と限界切込み量の関係

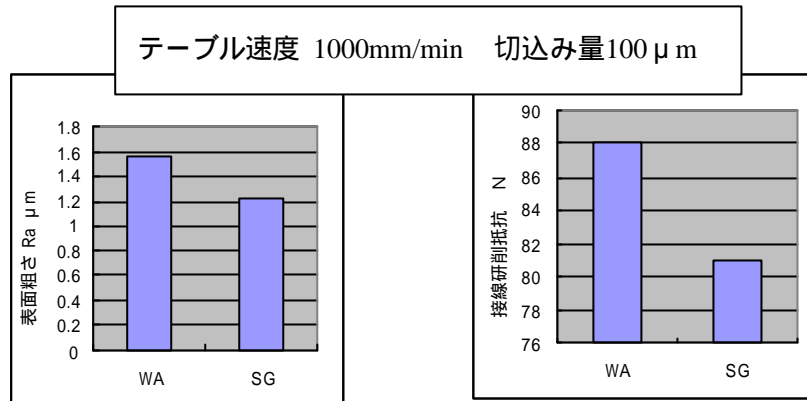


図 11 砥石の種類と表面粗さ，接線研削抵抗の関係

表 4 砥石別基本特性

	溶融アルミナ砥石 (WA)	SG 砥石
比重 (mg/cc)	3.97	3.87
科学的純度 (%)	99.74	99.60
ヌープ硬度 (knoop)	2032	2150
結晶の大きさ (μm)	50 以上	0.2 以下

#### 4.3 ドレッシング送り速度と限界切込み量

一般に、ドレッシング送り速度は研削特性に大きい影響を及ぼすので、トラバースクリープフィード研削におけるドレッシング送り速度と研削特性の関係について調べた。図 12 にドレッシング送り速度と限界切込み量の関係を示す。

図 12 よりドレッシング送り速度が速い方が限界切込み量が大きくなっていることがわかる。これはドレッシング送り速度を速くすることで砥石作業面が粗くなり研削能力が上がったためではないかと考えられる。

以後の実験ではドレッシング送り速度を 300mm/min にしている。

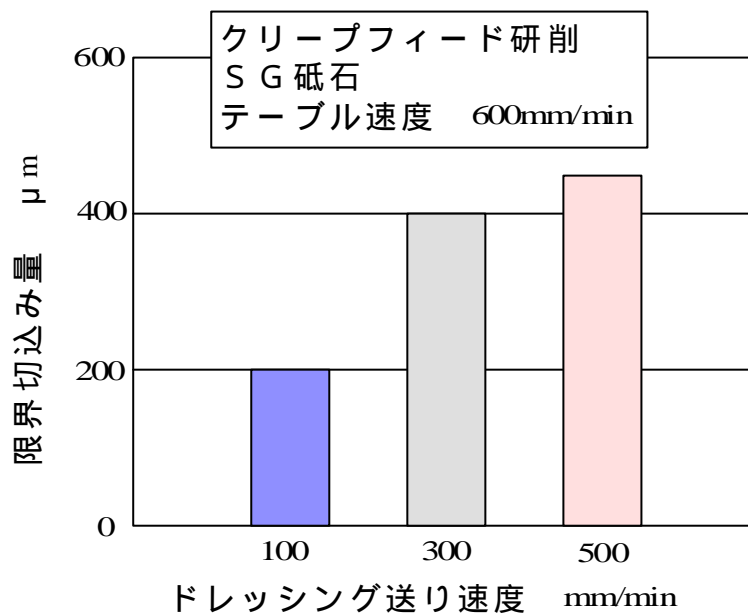


図 12 ドレッシング送り速度と限界切込み量の関係

#### 4.4 クリープフィード研削の研削限界

クリープフィード研削でどの程度の条件まで研削が可能であるか、その限界について調べた。図 13 はクリープフィード研削の研削限界を調べたものである。研削の限界は、テーブル速度を一定として切り込み量を順次大きくしていき、テーブルが停止したところを限界とした。図で研削できた条件は○、できなかった条件は×で示している。また、研削できた条件とできなかった条件の間に境界線を引いているが、その下側が研削可能域である。表 5 はそれぞれのテーブル速度の研削限界時における切り込み量と接線研削抵抗である。これから、接線研削抵抗が 150~170N 程度で研削限界になっていることが分かる。

それぞれの研削限界の条件のテーブル速度と切り込み量をかけた値がほぼ  $250\text{mm}^2/\text{min}$  以下が研削可能領域であることがわかった。また、それぞれの研削抵抗にはばらつきがあるものの大きな差は見られなかった。

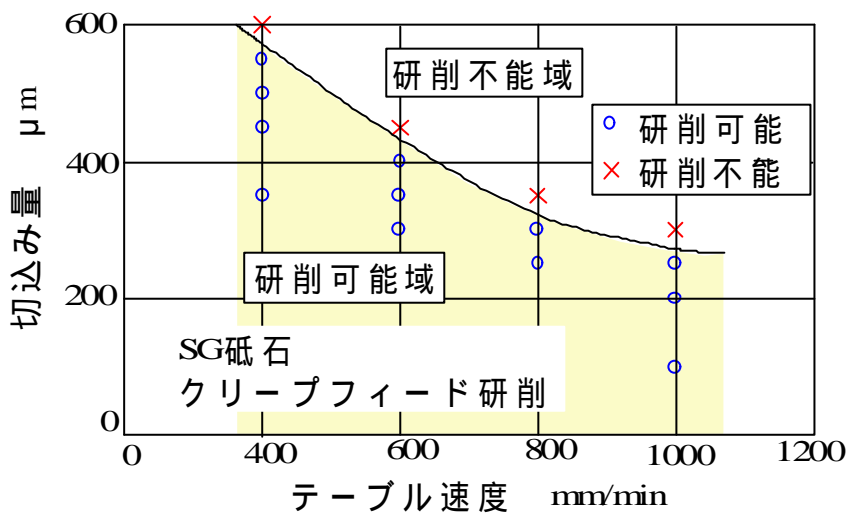


図 13 クリープフィード研削の研削限界

表 5 研削限界条件の研削抵抗

テーブル速度 mm/min	切り込み量 $\mu\text{m}$	接線研削抵抗 N
1000	250	163
800	300	150
600	400	150
400	550	175

#### 4.5 研削方法と能率の関係

研削方法が能率とどのような関係にあるのかを調べた。図 14 にクリープフィード研削と普通研削の能率を比較したものを示す。ここで単位時間当たり研削量とは研削にかかった時間で研削代の体積を割ったものである。

図 14 より普通研削の一般的な条件に比べてクリープフィード研削の方が研削能率が優れていることがわかる。これから、能率面ではトラバースクリープフィード研削の実用化の可能性があると分かった。

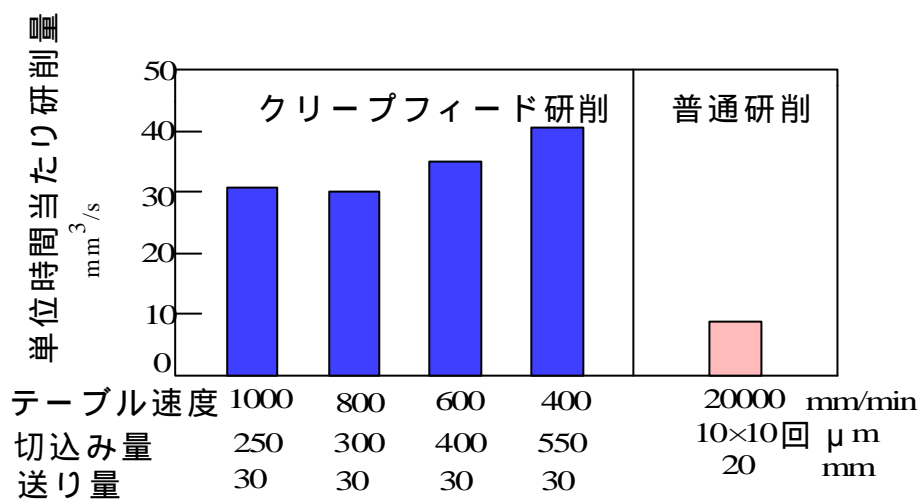


図 14 研削方法と単位時間当たり研削量の関係



## 5 . 結言

トラバースクリープフィード研削の基礎特性を調べた結果，以下のようなことが分かった．

- (1)研削開始端にも十分なクーラントを供給する必要がある．
- (2)WA 砥石に比べて SG 砥石の方が適している．
- (3)ドレッシング送り速度が速い方が限界切込み量が大きい．
- (4) [ 切込み量 × テーブル速度 ] の値が一定値を越えると研削不能になる．
- (5)普通研削と同等以上の研削能率を得られる．

今後の課題として，以下のようなことについての検討が必要と考えられる．

- (1)広い面の研削可能性について．
- (2)精度を含めた実用性について．

## 参考文献

- 1 ) 斎藤義夫：実用性の高い加工状態認識用インプロセスセンサ，29，8(1995)84
- 2 ) 稲崎一郎：研削加工の知能化，砥粒加工学会誌，42，7(1998)276
- 3 ) 古川勇二，他：クリープフィード研削の基礎とその応用，マシニスト，24，6(1980)68